

# **Diseño y Sistemas Electrónicos Digitales**

## Práctica de simulación de circuitos analógicos

**Unai Martinez Corral**

unai.martinez@udc.es

**EUP Ferrol**

Universidade da Coruña

2009/2010

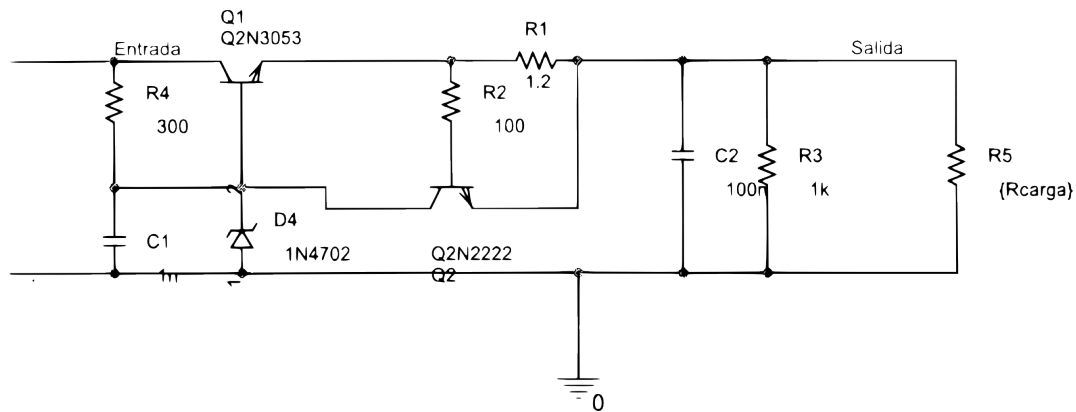
# Índice

|                                                                                                                                       |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1. Primer ejercicio</b>                                                                                                            | <b>2</b> |
| <b>2. Segundo ejercicio</b>                                                                                                           | <b>3</b> |
| <b>3. Tercer ejercicio</b>                                                                                                            | <b>3</b> |
| 3.1. Ajuste de la corriente . . . . .                                                                                                 | 3        |
| 3.2. Ajuste de la tensión . . . . .                                                                                                   | 4        |
| <b>4. Cuarto ejercicio</b>                                                                                                            | <b>4</b> |
| 4.1. Relación entre la tensión eficaz de entrada y la de salida . . . . .                                                             | 4        |
| 4.2. Funcionamiento, misión de cada uno de los componentes y tiempos de conducción                                                    | 4        |
| 4.3. Análisis empleados y parámetros . . . . .                                                                                        | 5        |
| <b>5. Quinto ejercicio</b>                                                                                                            | <b>5</b> |
| 5.1. Ajuste de $R_{base}$ y $R_{emisor}$ para que las tensiones de colector respecto a masa sean<br>1,5 V en Q1 y 5 V en Q2 . . . . . | 5        |
| 5.2. Impedancia de entrada . . . . .                                                                                                  | 6        |
| 5.3. Impedancia de salida . . . . .                                                                                                   | 6        |
| 5.4. Ganancia y ancho de banda . . . . .                                                                                              | 6        |

## 1. Primer ejercicio

Tal como indica el enunciado del ejercicio, este circuito se encarga de regular una fuente de alimentación. Mostraremos a continuación, y utilizando el Pspice cuál es su funcionamiento y qué función cumple de cada uno de los componentes o partes del circuito. Para ello, tras colocar una fuente de tensión continua en la entrada, haremos un DC Sweep aplicado a ésta, para así observar mediante un marcador qué tensión obtenemos a la salida y si ésta es estable o no. Observamos al hacer esto que para valores de entrada a partir de 15 V la salida se estabiliza a unos 14,5 V. Pasamos a continuación a explicar la función concreta de cada uno de los componentes:

La sección formada por R4, el diodo zener D4 y Q1 constituye un estabilizador de tensión, encargado de mantener un voltaje constante en la salida. Cuando la resistencia de carga es muy pequeña, envía más corriente para que la tensión en la salida se mantenga estable. Llega un momento en que con cargas excesivamente pequeñas la regulación no se produce. Más adelante explicaremos a qué se debe este fenómeno. Durante el funcionamiento normal del circuito, aunque haya variaciones en la tensión de entrada, siempre y cuando éstas no sean inferiores a 15 V, el potencial medido en la salida será de 15 V. Este parámetro viene dado por la tensión de rotura del zener.



La parte del circuito compuesta por R1, R2 y Q2 tiene la función de limitador de corriente. Con este limitador se previenen excesos de corriente a través de la carga o posibles cortocircuitos que puedan dañar los componentes de que se compone la fuente. En este apartado, R1 actúa como medidor de corriente, haciendo que cuando la intensidad por ella supere un determinado límite, se produzca una caída de tensión de 0,7 V entre la base y el emisor de Q1. Esta diferencia de potencial fuerza la conducción del transistor, el cual obtiene corriente de la base del transistor Q2. Así, se provoca un descenso en la corriente a través de R1 y, con ello, por el resto del circuito. R2 simplemente tiene la función de regular la intensidad de base del transistor y con esto protegerlo para evitar que grandes intensidades puedan quemarlo.

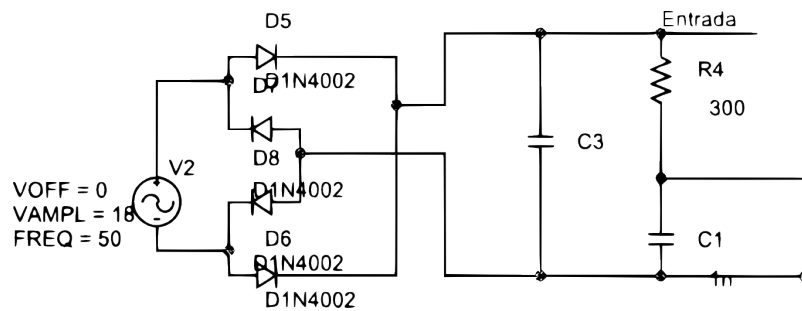
C2 actúa como filtro, evitando rizados indeseables a la salida provocados por cambios instantáneos de impedancia en la carga. Situada en paralelo con este condensador, R3 obliga a la regulación en todo momento, aunque desconectemos cualquier carga. De no disponer de este elemento, la conexión y desconexión de cargas provocaría transitorios no deseados constantemente, al forzar cambios bruscos de tensión en la salida. Mientras el valor óhmico de la carga sea inferior al de esta resistencia, la mayoría de la corriente circulará por ella, pues ambas se encuentran en paralelo.

El segundo condensador, situado a la entrada en paralelo con el diodo zener, tiene como objetivo filtrar las variaciones de frecuencia que pudiera haber.

Por último, la resistencia R5 cumple la función de carga del circuito y su cometido es posibilitar la simulación del circuito. En realidad no forma parte de éste, y en una aplicación real uno de los bornes de la fuente estaría situado donde encontramos la etiqueta “Salida”. El otro iría conectado a masa.

## 2. Segundo ejercicio

En primer lugar y para garantizar que el consumo de la carga será de 200 mA, pondremos un valor muy alto en C3, a fin de que no varíe la tensión en la salida, obteniendo así una corriente constante. En estas condiciones y mediante una simulación transitoria, observamos que el marcador situado en la salida marca 14 voltios. Conforme a la Ley de Ohm, dividimos esta tensión entre los 200 mA deseados para ver que el valor necesario en la carga es de 70 ohmios.



Asimismo, un 5 % de rizado en la salida supone que los valores están entre 13,3 y 14,7 voltios. Antes de parametrizar el valor de C3, realizamos un tanteo, reduciendo así la sección de valores a analizar. Tras probar con 1 nF, 1 uF, 1 mF y 1 F, vemos que el valor necesario se encuentra entre estos dos últimos. Parametrizamos la capacidad del condensador mediante el uso del elemento PARAM de la librería SPECIAL y hacemos un análisis transitorio, anidando a este un DC Sweep de un parámetro global -el que acabamos de definir-. Como límite inferior ponemos 1 mF y el superior lo establecemos en 3 mF, en pasos de 200 uF. Así, comprobamos en las diversas gráficas mostradas que el valor más cercano al límite establecido es de aproximadamente 1,35 mF o 1350 uF.

## 3. Tercer ejercicio

Como ya comentamos en el primer ejercicio, el circuito con el que estamos trabajando se compone de un regulador de tensión, un limitador de corriente y varios componentes que tienen como objetivo garantizar el óptimo funcionamiento de éstos. El apartado encargado de limitar la intensidad es el compuesto por las resistencias R1 y R2, además del transistor Q2. Es R1 en concreto el elemento gestor del límite de corriente en la carga. Debemos dimensionarlo de forma que a circular a través de éste la corriente deseada se produzca una caída de tensión de al menos 0,7V en él, para que así el transistor empiece a conducir. Este hecho resta corriente a la base del transistor de estabilización de tensión, Q1, reduciendo así la tensión en la salida, y por consiguiente la corriente a través de la carga. Pues, atendiendo a la Ley de Ohm de nuevo, una caída en la tensión repercute en la merma de la corriente.

### 3.1. Ajuste de la corriente

Así, podemos ajustar el valor de R1 de diversas formas. Una de ellas sería obtener el resultado de la división de 0,7 V entre la corriente deseada, en este caso 100mA. Esto daría como resultado

7 ohmios. Otro procedimiento sería parametrizar el valor de ésta y hacer un análisis transitorio, anidando un análisis paramétrico de tipo global.

### 3.2. Ajuste de la tensión

Por otro lado, la tensión de la salida nunca excederá los 15 voltios, pues esta es una característica del regulador de tensión que depende de los parámetros del diodo zener. Ajustando el valor de R4 podríamos obtener tensiones menores a 15 V, pero nunca superiores. Para hacerlo, sería necesario utilizar otro diodo con una tensión zener mayor.

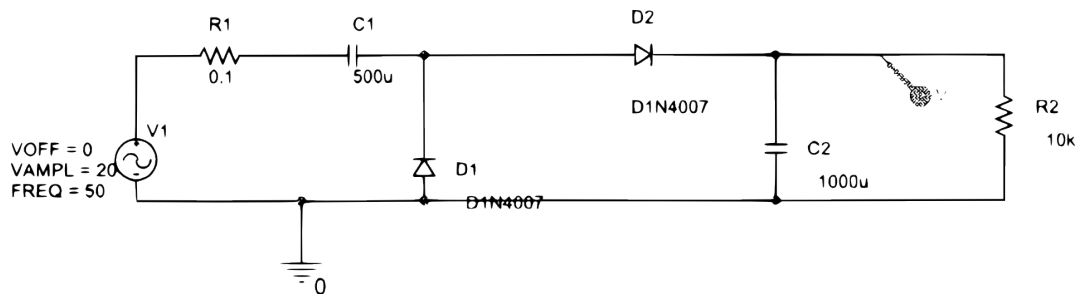
## 4. Cuarto ejercicio

### 4.1. Relación entre la tensión eficaz de entrada y la de salida

$$V_{in,dc} = \frac{20V}{\sqrt{2}} = 14,1421V \quad V_{out,dc} = 38,15V \quad \frac{V_{in,dc}}{V_{out,dc}} = \frac{38,15}{14,1421} = \mathbf{2,70} \quad (1)$$

### 4.2. Funcionamiento, misión de cada uno de los componentes y tiempos de conducción

Antes de comenzar el análisis de funcionamiento de este circuito, debemos especificar que en el instante inicial suponemos nula la diferencia de tensión en bornes de ambos condensadores. Por otra parte, la fuente, al ser sinusoidal, tendrá un hemiciclo positivo, seguido de otro de igual área y forma pero negativo. Estos dos hemiciclos compondrán el periodo completo de la señal. Como en este caso tenemos un generador con una frecuencia de 50Hz, el periodo será de 20ms. Dado que los procesos de carga y descarga de los condensadores, así como el estado de los diodos, se repetirán a lo largo de todos los periodos, analizaremos sólo los dos primeros, por considerar redundante un análisis más extenso.



Dicho esto, empezamos con el instante inicial. Como los condensadores no cambia su tensión instantáneamente, podemos suponer que tendremos el mismo potencial en el cátodo de D1 que en el borne positivo de la fuente de alimentación. Como el ánodo está conectado a masa, el diodo estará en estado de no conducción. Conforme vaya subiendo la tensión, la diferencia crecerá hasta polarizar el diodo en inversa.

En el caso de D2, aunque en un primer momento no conduzca, muy poco tiempo después, la tensión en el ánodo será mayor que la del cátodo y estará polarizado en directa.

Aunque en un primer momento, debido a que ninguno de los diodos conducía, no circulaba corriente a través de R1 y C1, tan pronto como la tensión empiece a subir ligeramente en el borne positivo del generador y D2 conduzca, el condensador empezará a cargarse a través de la resistencia. La misma corriente que circule a través de R1 y C1 lo hará por D2. Podemos ver que la forma de onda es idéntica.

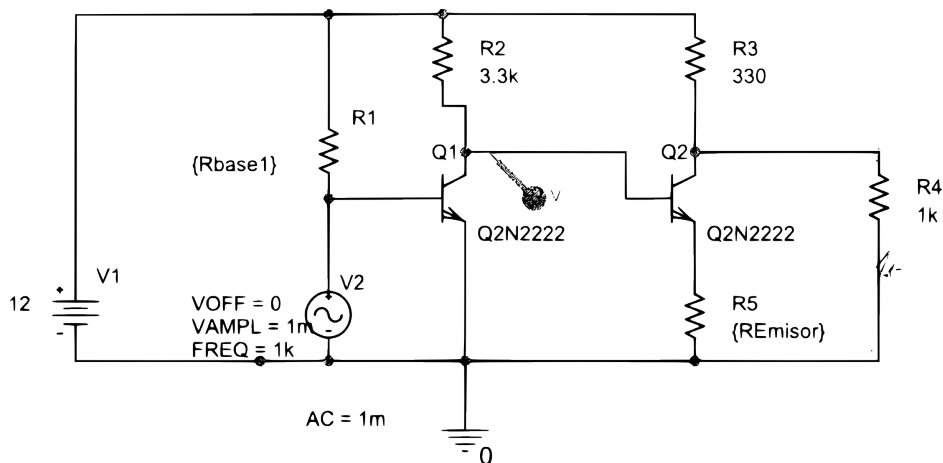
Dado que la resistencia opuesta por C2 es mucho menor que la de R2, la corriente continuará a través de éste hacia el borne negativo del generador. Al circular corriente, C2 se cargará, pero mucho más despacio que C1, pues su capacidad es mayor y, por lo tanto, su constante de tiempo.

Cuando la señal sinusoidal alcance su valor máximo, y empiece a disminuir su módulo, el diodo D2 entrará en corte. La tensión en bornes del generador es equivalente a la acumulada en ambos condensadores y la caída de tensión en el diodo. En el momento en que el módulo total se reduce, y debido a la resistencia a los cambios instantáneos de tensión en los condensadores, baja obligatoriamente la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo del diodo, llegando a un punto donde no se cumplen las condiciones de conducción. En ese mismo punto, y al haberse cortado la rama, dejarán de cargarse los condensadores, quedándose estancados en la tensión que tuvieran acumulada.

### 4.3. Análisis empleados y parámetros

A la hora analizar de este circuito hemos utilizado únicamente el análisis transitorio, denominado “Time Domain (Transient)” en el programa. Hemos definido un tiempo de 40ms para ver en detalle las tensiones y corrientes en diferentes puntos del circuito. Con el fin de poder observar adecuadamente las magnitudes, hemos añadido un segundo eje vertical (Plot -> Add Y Axis, en el Pspice), donde hemos situado las corrientes, mientras manteníamos las tensiones en el eje inicial. Por comodidad, también hemos dividido la ventana en varias secciones, mediante la opción Plot -> Add Plot to Window. De esta manera hemos separado las diferentes magnitudes, obteniendo una mejor visualización. Hemos visualizado tanto las tensiones en la entrada y salida, como en bornes de los condensadores, así como las corrientes a través de éstos, de los diodos y de la carga.

## 5. Quinto ejercicio



### 5.1. Ajuste de Rbase y Remisor para que las tensiones de colector respecto a masa sean 1,5 V en Q1 y 5 V en Q2

Para realizar los ajustes solicitados hemos cortado las conexiones que unen la resistencia R2 a R3 y el colector de Q1 a la base de Q2, con el fin de aislar el primer transistor de la parte derecha del circuito. Para evitar errores en la simulación, hemos cortocircuitado R3 y la base de Q2, aunque no hemos prestado atención al resultado en la salida.

Habiendo retirado la fuente VSIN y mediante un análisis paramétrico de Rbase (añadiendo el elemento PARAM de la librería SPECIAL y haciendo un DC Sweep del tipo Global Parameter

desde 1 ohmio hasta 1 mega en pasos de 1 k, y posteriormente desde 500k hasta 600k en pasos de 1 ohmio), mostrando gracias a un indicador la tensión en el colector de Q1, hemos obtenido el valor adecuado para obtener la tensión solicitada. Hemos utilizado el cursor para hallar el valor concreto, que hemos tomado como 586,5 k. Utilizando otro marcador, hemos anotado la tensión en la base de Q1 para el punto de trabajo mencionado.

A continuación, hemos vuelto a insertar la fuente VSIN, sustituyendo el valor inicial de VOFF por la tensión medida en el paso anterior, 675mV. Hemos conectado de nuevo la parte derecha del circuito y hemos procedido de igual manera para ajustar la tensión en el colector de Q2. En este caso hemos empezado con un análisis desde 1 ohmio hasta 1 k en pasos de 1 ohmio, y posteriormente hemos cambiado el límite superior por 100 ohmios. Hemos obtenido así un valor de 52 ohmios para Remisor.

## 5.2. Impedancia de entrada

Como VSIN es una fuente de alterna, hemos hecho un análisis AC Sweep/Noise desde 1 hasta 5 M calculando 100 puntos por década. Gracias a la función Trace -¿Add Trace hemos dividido la tensión en el borne positivo de la fuente entre la corriente que circula a través de ésta, obteniendo así la impedancia de entrada. El resultado ha sido un valor constante de 1,50-1,52 k para valores de frecuencia inferiores a 10 kHz. Para frecuencias superiores la impedancia cae, llegando a valores inferiores a 100 ohmios a partir de 1MHz.

## 5.3. Impedancia de salida

Hemos cortocircuitado la base de Q1 y masa, suprimiendo la fuente VSIN y hemos añadido una fuente de corriente continua de 1 A en serie con la resistencia de carga. Un análisis transitorio nos ha permitido leer la tensión en la salida mediante un indicador. La duración de la simulación es irrelevante, pues el valor en la salida es constante. Como hiciéramos en la entrada, hemos dividido la tensión en la salida por la corriente generada por la fuente. Al ser esta última de 1A, el resultado en ohmios ha sido el mismo medido en voltios, es decir, 276.

## 5.4. Ganancia y ancho de banda

Volviendo a conectar la fuente VSIN en su posición original y con los mismos valores de offset, amplitud, frecuencia y AC, hemos repetido un análisis AC Sweep/Noise para obtener el ancho de banda. Utilizando, una vez más, la función Add Trace del menú Trace en el PSpice, hemos dividido la tensión de salida entre la tensión de entrada con el modificador DB para obtener el resultado de decibelios. Así, hemos observado que la ganancia del circuito es de aproximadamente 61 dB. Reduciendo este valor en 3 dB hemos obtenido el límite en el cual se nos garantiza la mitad de la potencia nominal en la salida, 1,61 MHz. El circuito regula a partir de 0 Hz, por lo que no hemos obtenido límite inferior.